

АЛГОРИТМ ТА ПРОГРАММА РОЗРАХУНКУ ТРУБЧАСТОГО РЕАКТОРА ДЛЯ СУЛЬФАТУВАННЯ СУМІШЕЙ ОРГАНІЧНИХ ПРОДУКТІВ

А.І. ДЗЕВОЧКО^{1*}, М.О. ПОДУСТОВ²

¹ аспірант, асистент кафедри автоматизації технологічних систем та екологічного моніторингу, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

² завідувач кафедри автоматизації технологічних систем та екологічного моніторингу, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

* email: adzevochko@ukr.net

Процес сульфатування органічних речовин є однією з основних стадій виробництва поверхнево-активних речовин. На цій стадії відбувається взаємодія органічної речовини з низькоконцентрованим газоподібним SO₃. В Україні процес сульфатування проводився найчастіше в об'ємних реакторах зі ступенем перетворення органічної речовини не більше 90%, що приводило до втрат вихідної сировини й значних викидів шкідливих речовин до атмосфери.

В теперішній час процес сульфатування проводиться в плівкових реакторах зі спадним рухом фаз. Отже для проведення розрахунку процесу сульфатування й розробці конструкції реактора необхідно мати його математичну модель, що буде базою для створення сучасних алгоритмів і комп'ютерних програм розрахунку плівкових реакторів сульфатування.

Питанню моделювання плівкових трубчастих реакторів приділяли та приділяють велику увагу вчені у всьому світі: Правдін, Девіс і Девід, Дабір, Гутьєррес, Аканкша, Таленс, Ортега та ін. [1]. Незважаючи на велику кількість літературних даних, питання математичного моделювання плівкових реакторів сульфатування вимагає подальшого вивчення. Метою роботи є розробка алгоритма та програми розрахунку процесу сульфатування сумішей органічних речовин газоподібним низькоконцентрованим триоксидом сірки в трубчастому плівковому реакторі. Для розробки алгоритму математичної моделі процесу сульфатування були визначені рівняння масо- і теплообміну по довжині реакційної трубки [2].

Так матеріальний баланс по рідкій фазі має наступний вид:

$$V_z \frac{\partial C_A}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial y} \left[(D_A + D_T) \frac{\partial C_A}{\partial y} \right] - r, \quad (1)$$

де: C_A – молярна концентрація вихідної органічної сировини в рідкій фазі, моль/м³; y – осьова координата; V_z – швидкість рідини фази, м/с; D_T – турбулентна дифузія в рідкій фазі, м²/с; z – осьова координата; r – швидкість реакції, моль/(м²·с); D_A – молекулярна дифузія в рідкій фазі, м²/с.

Реакція сульфатування протікає дуже швидко й швидкість процесу переважно визначається швидкістю масопереносу з обсягу газу до кордону поділу фаз, отже матеріальний баланс по газовій фазі має наступний вид:

$$P_B = P_0 \cdot \exp\left(\frac{K_G \cdot P \cdot \Pi}{M_G} \cdot z\right), \quad (2)$$

де: M_G – молярна витрата газового потоку, моль/с; Π – периметр трубки, м; K_G – коефіцієнт масопередачі, моль/(м²·с); P – загальний тиск газового потоку, Па; P_B – парціальний тиск триоксиду сірки в газовому потоці, Па.

Коефіцієнт масопередачі, після глибокого аналізу процесу масообміну в трубчастих реакторах сульфатування, визначається за рівнянням [2]:

$$K_G = 0,046 \cdot \text{Re}_G^{0,83} \cdot R_{Gq}^{0,44}, \quad (3)$$

де: R_{Gq} – дифузійний критерій Прандтля.

Математична модель процесу сульфатування включає фізико-хімічні характеристики рідкої фази по довжині ректора, зокрема, щільність і в'язкість. Ці параметри нами були визначені на основі експериментальних досліджень і наведені в [3]. Щільність реакційної маси по довжині реактора розраховується за рівнянням:

$$\rho_{жс} = 854 + 2,25\eta - 9(T - 273). \quad (4)$$

В'язкість реакційної маси по довжині реактора визначається за рівнянням при $0 < \eta < 72\%$:

$$\mu_{жс} = 131 \cdot \exp\left\{-0,5 \cdot \left[0,0002 \cdot (T - 273)^2 + 0,0009 \cdot \eta^2\right]\right\}, \quad (5)$$

при $\eta > 72\%$:

$$\mu_{жс} = 595,6 - 11,34\eta + 0,07\eta^2 + 0,1 \cdot (T - 273)^2, \quad (6)$$

де: η – ступінь сульфатування органічної сировини, %.

Математична модель складена при наступних допущеннях: втрати тепла в навколишнє середовище відсутні; рідка плівка симетрична щодо осі реактора; рідина не випаровується, газ не конденсується; вхідні й вихідні кінцеві ефекти не враховуються; не відбувається краплинного віднесення рідини.

За вищенаведеними рівняннями складено алгоритм, на основі якого розроблена програма розрахунку процесу з використанням пакета прикладних програм MATLAB.

Список літератури:

1. Дзевочко, А.І. Розробка математичної моделі процесу сульфатування в плівковому реакторі / А.І. Дзевочко, М.О. Подустов, В.О. Панасенко // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2017. – № 1. – С. 25–33.
2. Дзевочко, А.І. Аналіз процесів масообміну в трубчатому плівковому реакторі сульфатування / А.І. Дзевочко, М.О. Подустов, А.П. Заїкін // Сборник научных трудов "Химия и технология основной химической промышленности". – Х.: НИОХИМ. – 2016. – Том 78. – № 22. – С. 187–192.
3. Dzevachko, A. Regularities of the process sulfate and mixtures organic substances / A. Dzevachko, M. Podustov. – European Journal of Enterprise Technologies. – No 5/6 (83). – pp. 37–43.